

Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Rekonstrukce zkušebního zařízení pro běhové zkoušky kol

Reconstruction of the Test Bench for Testing of Bicycle Wheels

Student:

Jakub Havrlant

Vedoucí bakalářská práce:

Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.

Ostrava 2019

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Havrlant**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**
Téma: **Rekonstrukce zkušebního zařízení pro běhové zkoušky kol**
Reconstruction of the Test Bench for Testing of Bicycle Wheels
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je modifikace zkušebního zařízení, které provádí běhové zkoušky ve společnosti REMERX s.r.o. Aktuálně provádí zařízení běhové zkoušky rozběh/výdrž/doběh ve vertikální poloze v počtu 300 tisíc cyklů. Nové zařízení by mělo provádět zkoušky v různých polohách, s vyššími přenášenými výkony a měřením výkonu.

Požadavky:

- možnost naklopení kola v rozmezí $\pm 45^\circ$ pomocí pohonu,
- výkon motoru min. 1 kW,
- doplnění brzdy do systému,
- doplnění zařízení pro měření výkonu.

Cíle práce:

- konstrukční návrh zkušebního stroje,
- sestavní výkres zkušebního stroje,
- výrobní výkres hřídele pohonu,
- pevnostní výpočet pohonného ústrojí,
- pevnostní výpočet naklápěcího mechanismu.

Seznam doporučené odborné literatury:

DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
KŘÍŽ, Rudolf; Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Scientia, 1994, 254 s. ISBN 80-85827-58-1.
MORAVEC, Vladimír; Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 64 s. ISBN 80-248-0878-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry

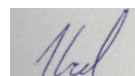


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019.



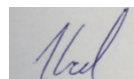
.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Jakub Havrlant

Adresa trvalého pobytu autora práce: Družstevní 6, 747 21 Kravaře-Kouty

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HAVRLANT, J. *Rekonstrukce zkušebního zařízení pro běhové zkoušky kol: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2019, #počet stran doplnit# s. Vedoucí práce: Sniehotta, P.

Bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí zkušebního zařízení pro běhové zkoušky cyklistických kol. V úvodu práce se pojednává o normě ISO 4210-7, která definuje tuto zkoušku. Porovnání řešení jiných společností na trhu. Na základě již stávajícího řešení je postaveno řešení této bakalářské práce. Detailní popis jednotlivých použitých součástí a jejich parametrů. Na tuto kapitolu navazuje kapitola výpočtu použitých strojních součástí. Závěrem práce je zhodnocení cílů práce. V příloze jsou uvedeny potřebné dokumenty pro realizaci výroby.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HAVRLANT, J. *Reconstruction of the Test Bench for Testing of Bicycle Wheels: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2019, #počet stran# p. Thesis head: Sniehotta, P.

Bachelor thesis is dealing with reconstruction of test bench for testing of bicycle wheels. The introduction shows norm ISO 4210-7 and defines the testing method. Comparison of other testing benches. The new construction is based on already build construction. Detailed description of every part used on the test bench. Followed by calculations of mechanical parts. Summary of all goals. Attachments include documentation needed for construction of this test bench.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
1 Úvod	10
2 ISO 4210-7:2014	11
3 Zkušební stroj	12
3.1 Řešení firmy REMERX s.r.o.	12
3.2 Řešení firmy PRO-LITE.....	12
3.3 Řešení firmy YOELEO	13
3.4 Nové řešení pro firmu REMERX s.r.o.	14
4 Konstrukční řešení	15
4.1 Rám.....	15
4.2 Elektromotory	17
4.2.1 Elektromotor pohonu sestavy kolo/plášť	17
4.2.2 Elektromotor pro pohon kyvného rámu	17
4.3.3 Elektromotor pro pohon brzdy	18
4.3 Ložiska	19
4.4 Řetězové převody.....	20
4.5 Řetěz.....	22
4.6 Brzda.....	23
4.7 Měření výkonu	24
5 Výpočty	25
5.1 Redukční hřídel.....	25
5.1.1 Výpočet sil od řetězových kol.....	27
5.1.3 Kontrola ložisek UC 206	29
5.2 Odpor valení.....	30

5.3 Kyvný rám	35
5.3.1 Osy	35
5.3.2 Kontrola kolíku v hřídeli	38
5.3.3 Ložiska kyvného rámu UC 208	39
6 Závěr.....	40
Seznam použití literatury	41
Seznam příloh.....	42

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Popis	Jednotka
A	Osová vzdálenost	[mm]
C	Základní dynamická únosnost	[kN]
C_0	Základní statická únosnost	[kN]
d	Malý průměr	[mm]
D	Velký průměr	[mm]
F	Síla	[N]
h	Průhyb řetězu	[mm]
i	Převodový poměr	[-]
l	Délka	[mm]
L_{10}	Trvanlivost ložiska	[min ⁻¹]
m	Hmotnost řetězu	[kg]
M	Moment	[N·mm]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
p	Otlačení	[MPa]
P	Výkon	[W]
P_o	Ekvivalentní statické zatížení	[N]

R	Poloměr	[mm]
R_A	Reakce v podpoře A	[N]
R_B	Reakce v podpoře B	[N]
s_0	Statická bezpečnost ložiska	[-]
u	Převodový poměr	[-]
v	Obvodová rychlost	[m·s ⁻¹]
X_0	Součinitel radiálního zatížení ložiska	[-]
Y_0	Součinitel axiálního zatížení ložiska	[-]
z	Počet zubů	[-]
η	Účinnost	[%]
ξ	Rameno valivého odporu	[mm]
α_{HMH}	Koeficient teorie HMM	[-]
σ_{DOV}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_o	Napětí v ohybu	[MPa]
τ	Napětí ve smyku	[MPa]

1 Úvod

Jízdní kolo musí splňovat jisté normy a požadavky pro provoz na silnicích či v terénu. Zlomený paprsek na vypleteném kole není nic tak neobvyklého a v běžných případech toho nemá za následek fatální selhání jízdních vlastností či ohrožení na životě.

V případě lomu ráfku kola dochází k selhání jízdních vlastností a v některých případech může dojít i k ohrožení života cyklisty. V roce 1982 bylo zavedena norma ISO 4210, která popsala tuto problematiku a zavedla jistá pravidla ohledně bezpečnosti a pevnosti kola jako celku. V roce 2014 byl vydán sedmi dílný svazek k této normě, který zpřísňuje jednotlivé zátěžové zkoušky pro rám, ráfek, plášť a další komponenty kola.

Sedmý svazek této normy popisuje zátěžovou zkoušku pro zaplétané kolo. V této normě je uvedeno zjednodušené schéma zkušebního zařízení pro tuto zkoušku.

Cílem této práce je zkonstruovat zkušební zařízení, který bude splňovat předepsanou normu, pro firmu REMERX s.r.o., která se zaměřuje na výrobu zaplétaných kol, nábojů a ráfků. Dále využít elektromotor o minimálním výkonu 1 kW pro pohon sestavy kolo/plášť, připojit brzdu do systému a doplnit zkušební zařízení o měřidlo výkonu.

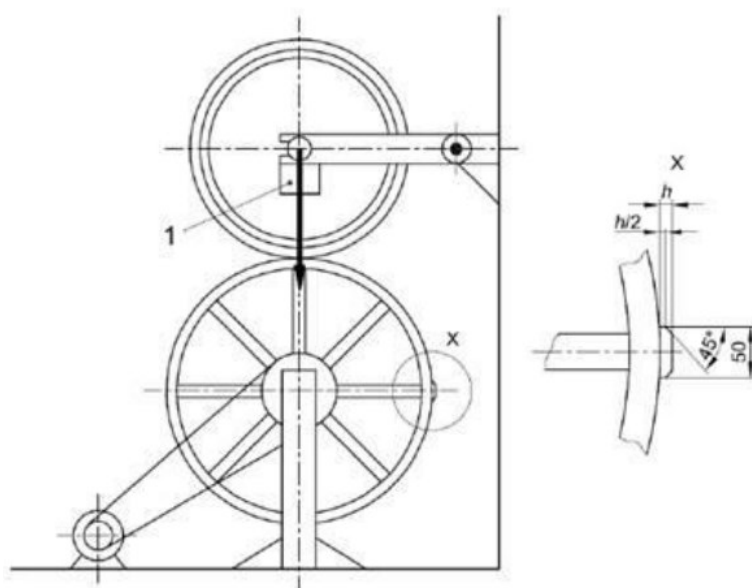
2 Testování dle ISO 4210-7:2014

Dynamickou zátěžovou zkouškou pro sestavu kolo/plášť se zabývá norma ISO 4210-7:2014. Tato norma je popsána pouze pro městské a trekingová jízdní kola. Norma stanovuje, že při zkoušce nesmí dojít k trhlině, k odpojení ani k viditelným prasklinám na kole.

Také nesmí dojít ke ztrátě tlaku vzduchu v plášti způsobeném poškozením pláště nebo duše. Zjednodušené schéma sestavy testovacího zařízení, které zobrazuje sestavu kolo/plášť a hnací bubnu, je také obsahem normy. Při zkoušce je zásadní, aby sestava kolo/plášť byla zatěžována radiální silou 640 N.

Dalším zásadním kritériem je, aby na hnacím bubnu byly umístěny příčninky o délce $50 \pm 2,5 \text{ mm}$ a šířce $10 \pm 0,25 \text{ mm}$, dále musí být na těchto příčnících sražená hrana do půlky šířky a o úhel 45° . Sousedící příčninky nesmí mít obvodovou délku mezi osami menší než 400 mm.

Hnací bubnu stroje se musí otáčet obvodovou rychlostí $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ s relativní tolerancí $\pm 10\%$ a dosáhnout 750 000 dopadů pláště na příčník. [1]



Obr. 1 - Příklad zkušebního stroje [1]

3 Zkušební zařízení

3.1 Řešení firmy REMERX s.r.o.

Firma REMERX s.r.o. se znalostí normy ISO 4210-7:2014 sestrojili vlastní zkušební zařízení na testování svých ráfků a zaplétaných kol. Jejich řešení vychází ze schématu, které je obsahem normy. Řešení je založeno na uložení osy zaplétaného kola do rámu, který je volně otočný kolem osy čepu, který spojuje rám zaplétaného kola a rám hnacího bubnu.

Rám stroje je zhotoven z tenkostěnných uzavřených čtvercových profilů, které byly poté svařeny. Pro pohon byl použit třífázový asynchronní elektromotor o výkonu 500 W. Přenos výkonu je uskutečňován řemenovým převodem s převodovým poměrem $i = 2,5$.



Obr. 2 - Konstrukční řešení firmy REMERX s.r.o.

3.2 Řešení firmy PRO-LITE

Tchajwanská společnost PRO-LITE, která se specializuje na výrobu zaplétaných kol, rámu a vidlic jízdních kol vyvinula vlastní zkušební zařízení na testování svých zaplétaných kol.

Jejich řešení je založeno na delší šířce hnacího bubnu a kyvném uložení rámu v lineárním vedení.

Firma PRO-LITE používá poněkud jinou metodiku testování než norma ISO 4210-7:2014 požaduje. Věří, že pokud zaplétané kolo vydrží 60 hodin testování na tomto stroji, zvládne vydržet celou životnost.



Obr. 3 - Konstrukční řešení firmy PRO-LITE [2]

3.3 Řešení firmy YOELEO

Čínská firma YOELEO se specializací na všechny komponenty v cyklo průmyslu. YOELEO vyvinuly podobné testovací zařízení jako firma PRO-LITE.

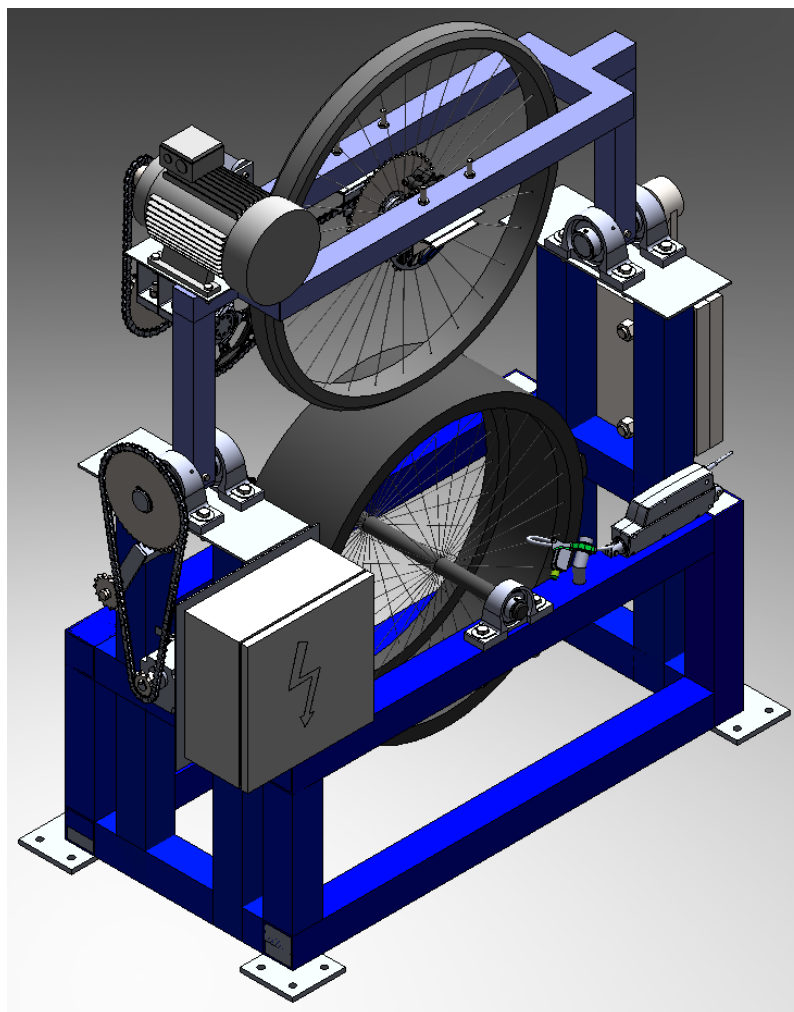
YOELEO použili normální délku hnacího bubnu a místo kyvného rámu uloženého v lineárním vedení použili vedení v drážce pro kompenzaci naklopení rámu zaplétaného kola.



Obr. 4 - Konstrukční řešení firmy YOELEO [3]

3.4 Nové řešení pro firmu REMERX s.r.o.

Pro nové řešení byl zvolen kyvný rám uložený v ložiscích. Uložení je na obou stranách konstrukce z důvodu velkých ohybových a kroutících momentů. Pro kompenzaci velkých kroutících momentů je jeden z hřídelů osazen protizávažím.



Obr. 5 - Nové konstrukční řešení

4 Konstrukční řešení

Podrobný popis jednotlivých částí zkušebního zařízení, které byly použity pro sestavení zařízení.

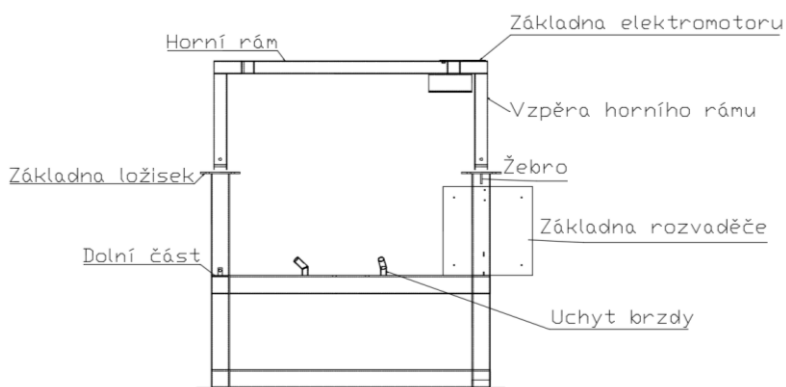
4.1 Rám

Rám zkušebního zařízení je tvořen z tenkostěnných čtvercových profilů různých průřezů.

Základna zkušebního zařízení je tvořena tenkostěnnými profily o průřezu 70x70x2. Celý spodní díl je svařen. Po stranách jsou dvě vzpěry, na které poté přijde přivařit čtvercová základna, ke které se šroubují ložiskové domky pro kyvný rám. Tato základna je vyztužena žebry z důvodu velkých ohybových momentů od řetězového kola a závaží. Na spodní rám jsou dále přivařeny úchyty pro ovládání přehazovačky, lineární motor, brzdu a úchyty pro kompaktní motoru s převodovkou.

Vzpěry pro kyvný rám mají na jednom konci díru pro vložení hřídele a díru pro čepem, na druhém konci jsou přivařeny k vrchní části rámu. Profil této vzpěry je 50x50x2.

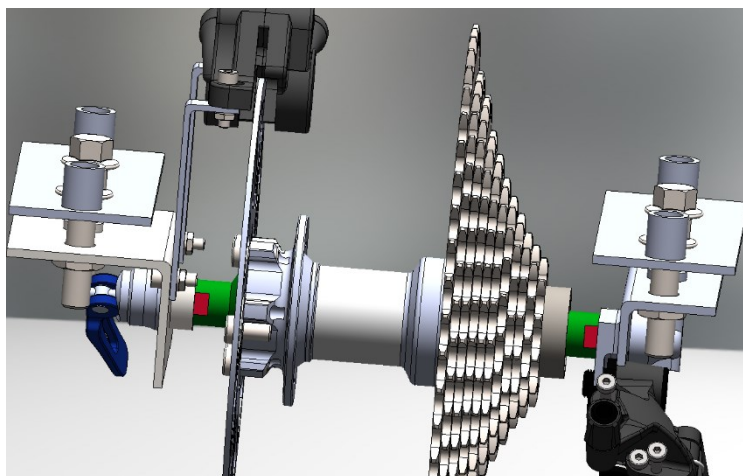
Horní část rámu je tvořena stejnými profily jako vzpěry. Na tento rám se přivařují dva tenkostěnné obdélníkové profily o rozměru 70x50x2, na které se šroubují ložiskové domky. Základna pro elektromotor o profilu 200x175x3 je také přivařena k hornímu rámu. Základna pro napínák řetězu a upínání osy kola je šroubováno k rámu.



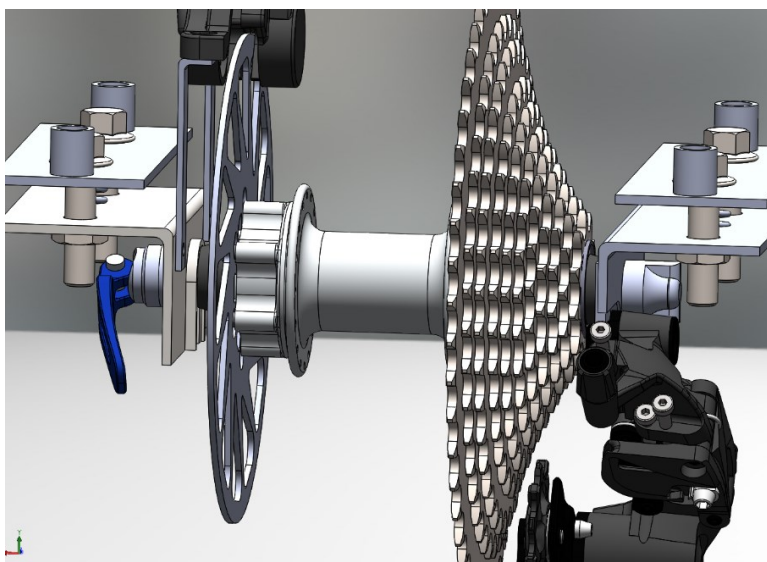
Obr. 6 - Rám zkušebního stroje

Upínací rám osy kola je modulární a je tedy možné upnout kola o velikostech R29, R27,5, R26. Výška je nastavitelná pomocí distančních kroužků. Rám dále obsahuje tlačnou pružinu o tuhosti $41\text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$, která vyvozuje sílu 342 N.

Dále byly zkonstruovány dva druhy úchytu, a to pro upnutí 5 mm napínáku osy a 12 mm pevné osy.



Obr. 7 - Upínací systém pro 12 mm osu



Obr. 8 - Upínací systém pro 5 mm napínák

4.2 Elektromotory

Parametry a vlastnosti použitých elektromotoru na zkušebním zařízení.

4.2.1 Elektromotor pohonu sestavy kolo/plášť

Jedním z požadavků zadání bylo použít elektromotor o výkonu větším než 1 kW. Byl zvolen motor značky SIEMENS se standardní účinností o výkonu 1,1 kW.

Tab. 1 - Parametry elektromotoru SIEMENS 1LE1002-0EC42 [4]

Značení	Hodnoty	Jednotky
Výkon P_n při 50 Hz	1,1	kW
Velikost	90L	-
Otáčky n_M při 50 Hz	925	min^{-1}
Moment M_N při 50 Hz	11	Nm
Hmotnost	15	Kg



Obr. 9 - Třífázový asynchronní elektromotor [4]

4.2.2 Elektromotor pro pohon kyvného rámu

Pro pohon kyvného rámu byl použit kompaktní indukční motor, který je spojen s čelní převodovkou pro dosažení většího krouticího momentu.

Tab. 2 - Parametry elektromotoru DKM 9IDG-200FH [5]

Značení	Hodnoty	Jednotky
Výkon P_n při 50 Hz	0,2	kW
Otáčky n_M při 50 Hz	1300	min^{-1}
Moment M_N při 50 Hz	1,5	$N \cdot m$

Tab. 3 - Parametry čelní převodovky DKM 9HBK-BH [5]

Značení	Hodnota	Jednotka
Převodový poměr i	30	-
Účinnost η	66	%
Otáčky na výstupu n_g	50	min^{-1}
Krouticí moment na výstupu M_g	30	$N \cdot m$



Obr. 10 - Kompaktní motor DKM s čelní převodovkou [5]

4.3.3 Elektromotor pro pohon brzdy

Pohon brzdy je zajištěn lineárním aktuátorem LINAK LA12. Lineární aktuátor byl zvolen jako alternativa na místo hydraulického či pneumatického systému.

Aktuátor je připojen přes táhlo k čepu, který spojuje páku brzdy a pístek. Svým přímočarým pohybem tlačí či odtahuje pístek brzdy a tím vyvolává brzdný účinek.

Tab. 4 - Parametry lineárního aktuátoru LA12 [6]

Značení	Hodnota	Jednotka
---------	---------	----------

Napětí	24	<i>V</i>
Max. tah/tlak	750	<i>N</i>
Délka zdvihu	130	<i>mm</i>



Obr. 11 - Lineární aktuátor LA12 [6]

4.3 Ložiska

Při výběru ložisek bylo přihlíženo ke kompletům ložisek s ložiskovým tělesem. Tyto komplety mají výhodu v tom, že se již nemusí pojišťovat proti axiálnímu posuvu. Mají dobrou dynamickou únosnost. Z katalogu firmy Schaeffler byly vybrány jednořadá kuličková ložiska UC se zajištěním na červík, která jsou určena pro ložiskové tělesa typu P.

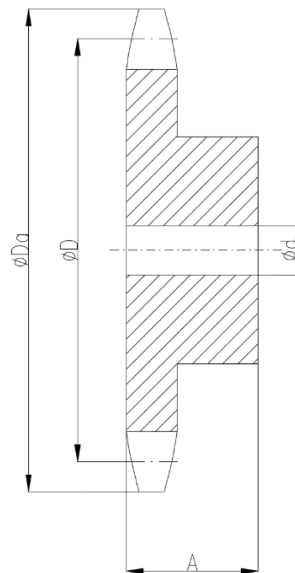
Ložisková tělesa typu P jsou normalizována. Jsou vyrobeny z litiny a jsou přímo určena pro ložiska UC nebo UK. Z pravidla se tyto ložiskové tělesa prodávají již s ložiskem, tyto komplety se označují UCP.



Obr. 12 - Ložiskový domek P s ložiskem UC [7]

4.4 Řetězové převody

Pro přenos krouticího momentu od elektromotoru na redukční hřídel je uvažováno použití řetězových kol, která lze snadno nakoupit již vyrobená, například u firmy HABERKORN.



Obr. 13 - Řetězové kolo

Tab. 4 - Řetězová kola elektromotoru a redukční hřídele ISO 08B-1 [8]

Značení	Hodnota	Jednotka
Počet zubů – z_1, z_2	13, 38	-
Roztečný průměr – $\varnothing D_1$	53,06	mm
Vnější průměr – $\varnothing D_{a1}$	57,9	mm
Předvrtaná díla – $\varnothing d_1$	10	mm
Šířka kola – A_1	28	mm
Roztečný průměr – $\varnothing D_2$	153,8	mm
Vnější průměr – $\varnothing D_{a2}$	158,6	mm
Předvrtaná díla – $\varnothing d_2$	16	mm
Šířka kola – A_2	35	mm
Materiál	12 050	-

Přenos krouticího momentu z redukční hřídele na sestavu kolo/plášť je realizováno za použití 11stupňové kazety řetězových kol pro cyklistické kolo a 2stupňového převodníku, který je na hřídeli unášen evolventním drážkováním. Kazeta na sestavě kolo/plášť disponují přehazovačkou pro nastavení správného převodového poměru při změně průměru testovaného kola. Odstupňování kazety SUNRACE CSMX80EA5 11–13–15–18–21–24–28–32–38–42–50. Odstupňování převodníku SRAM RED BLAST BLACK 50-34. K dosažení převodu do pomalu je využíván pouze převodník s 34 zuby. [11]



Obr. 14- Převodníky SRAM s evolventním drážkováním [9]

Z převodovky na hřídel kyvného rámu jsou uvažovaná kupovaná řetězová kola řady ISO 08B-1.

Tab. 5 - Řetězová kola převodovky a hřídele kyvného rámu ISO 08B-1 [8]

Značení	Hodnota	Jednotka
Počet zubů – z_1	11	-
Roztečný průměr – ϕD_3	45,07	mm
Vnější průměr – ϕD_{a3}	49,9	mm
Předvrtaná díla – ϕd_3	10	mm
Šířka kola – A_2	25	mm
Počet zubů – z_2	46	-
Roztečný průměr – ϕD_4	186,1	mm

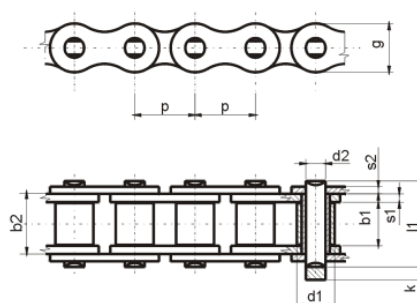
Vnější průměr – $\varnothing D_{a4}$	192,6	mm
Předvrtaná díla – $\varnothing d_4$	20	mm
Šířka kola – A_1	42	mm
Materiál	12 050	-

4.5 Řetěz

Řetězová soukolí redukční hřídel – sestava kolo/plášť je navrženo pro použití se standartním řetězem na cyklistické kolo, je tedy uvažován řetěz od firmy SRAM.

Řetěz SRAM PC-1130 je určen pro použití na 11stupňových kazetách. Řetěz se chlubí technologií PowerChain II, který přináší vyšší vydrž a také lepší únosnost proti přetržení. [9]

Řetěz pohánějící elektromotor – kyvný rám a elektromotor – redukční hřídel je válečkový řetěz určený pro řetězová kola ISO 08B-1.

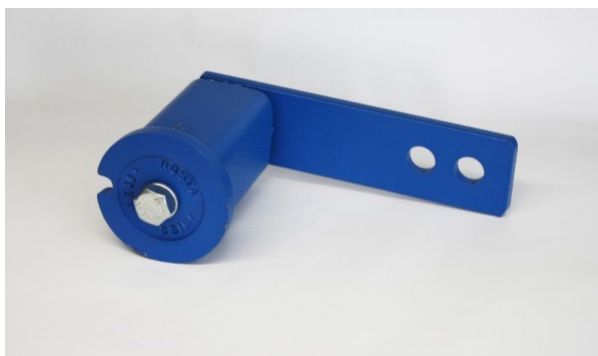


Obr. 15 - Rozměry řetězu [10]

Tab. 6 - Rozměry řetězu 08B-1 [10]

Značení	Hodnota	Jednotka
Rozteč – t	12,7	mm
Šířka – b_{1min}	7,75	mm
Hmotnost	0,65	$kg \cdot m^{-1}$
Síla proti přetržení – F_b	18	kN

Napínání řetězu je zajištěno kupovaným univerzálním napínákem SE na montážním úhelníku WS s ozubeným kolem typu N.[8]



Obr. 16 - Univerzální napínák SE [8]

4.6 Brzda

Konstrukčně nejjednodušším řešením zakomponování brzdy do systému je použití cyklistické kotoučové brzdy.

Brzdový kotouč snadno a rychle spojíme s nábojem sestavy kolo/plášť. Byl zvolen brzdový kotouč SRAM Centerline o průměru 160 *mm*.

Brzdový třmen je uchycen na dvou vzpěrách, které jsou přišroubovány k úchytům osy kola. Byl uvažován brzdový třmen SRAM Level TL.



Obr. 17 - Brzdový třmen SRAM Level TL [11]

Jelikož elektromotor dokáže vyvodit velký krouticí moment, je zde nutné použít kvalitní brzdové destičky. Z tohoto důvodu byly uvažovány brzdové destičky AVID Elixir.

4.7 Měření výkonu

Pro měření výkonu byl použit Wattmetr od firmy Quarq, který je uložený v pavouku.



Obr. 18 - Pavouk s wattmetrem Quarq DZero [12]

Tato měřidlo je připojeno přes ANT+ nebo Bluetooth k cyklo-computeru, který zaznamenává a uchovává naměřená data. Tímto měřením získáme přesný spotřebovaný výkon a také ujeté kilometry sestavy.



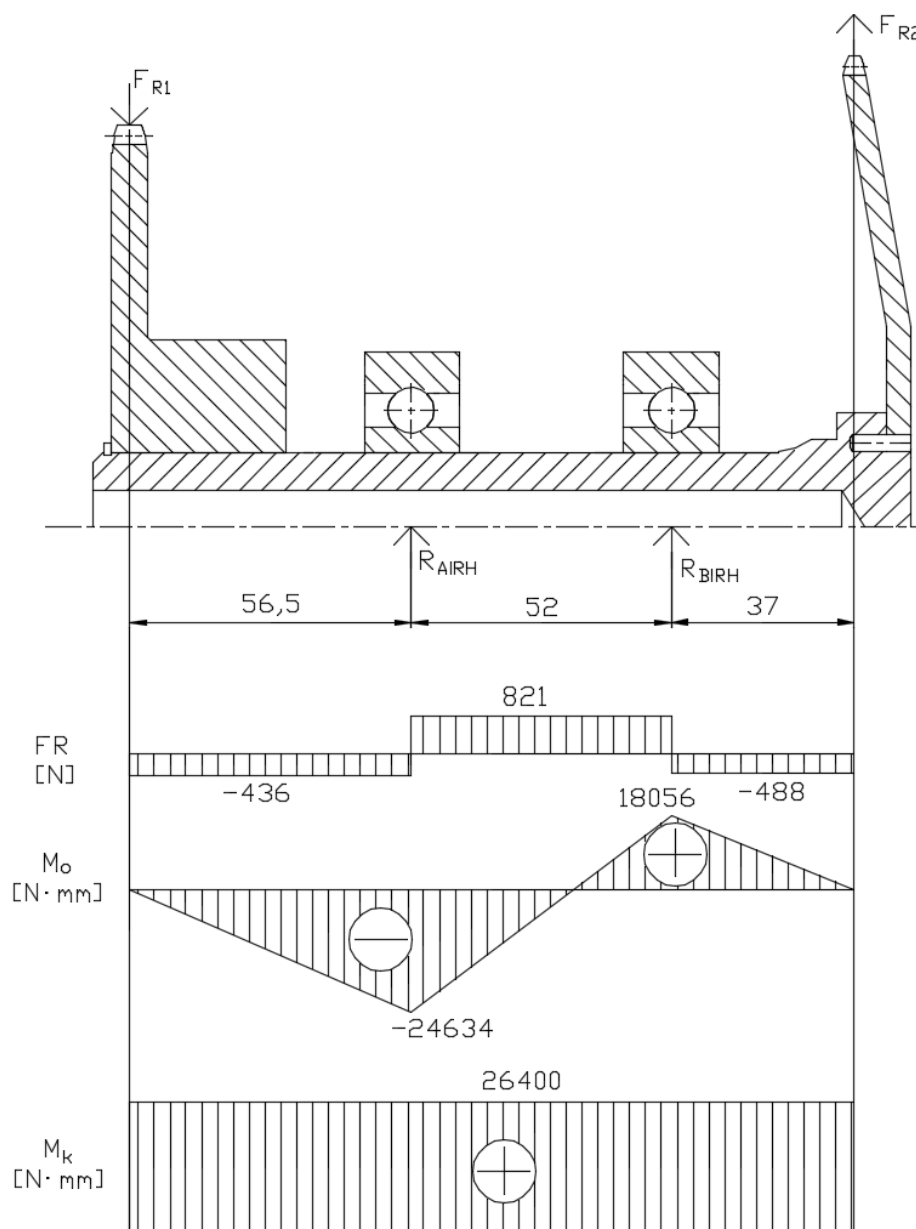
Obr. 19 - Cyklo-computer SRM PC8 [13]

5 Výpočty

V této kapitole jsou vypočítány a kontrolovány části zkušebního stroje.

5.1 Redukční hřídel

Výpočet průměru a kontrola redukčního hřídele na krut a ohyb.



Obr. 20 - Průběhy na redukční hřídeli

Výpočet reakci

$$\sum F_Y = R_{A|RH} + R_{B|RH} - F_{R1} + F_{R2} = 0$$

$$R_{A|RH} = -R_{B|RH} + F_{R1} - F_{R2} = 1158 + 436 - 488 = 1\,257\,N \quad (1)$$

$$\sum M_A = F_{R1} \cdot 56,5 + F_{R2} \cdot (52 + 37) + R_{B|RH} \cdot 52 = 0$$

$$R_{B|RH} = \frac{-F_{R1} \cdot 56,5 - F_{R2} \cdot (52 + 37)}{52} = \frac{-436 \cdot 56,5 - 488 \cdot 89}{52} = -1\,309\,N \quad (2)$$

Kde:

F_{r1} – síla od řetězového kola 1 [N] viz. 5.1.1

F_{r2} – síla od řetězového kola 2 [N] viz. 5.1.1

Výpočet kroutícího momentu

$$M_{k|RH} = M_N \cdot u_1 = 11 \cdot 2,4 = 26\,400\,N \cdot mm \quad (3)$$

Kde:

M_N – kroutící moment elektromoturu [N · mm]

u_1 – převodový poměr mezi elektromotorem a redukční hřídeli [-]

Výpočet ohybových momentů

$$M_o(R_{A|RH}) = -F_{R1} \cdot 56,5$$

$$M_o(56,5) = -436 \cdot 56,5 = -24\,634\,N \cdot mm \quad (4)$$

$$M_o(R_{B|RH}) = -F_{R1} \cdot 108,5 + R_{A|RH} \cdot (108,5 - 56,5)$$

$$M_o(108,5) = -436 \cdot 108,5 + 1194 \cdot 52 = 14\,800\,N \cdot mm \quad (5)$$

Výpočet redukovaného momentu

$$M_{o|RHRED} = \sqrt{M_{O(56,5)}^2 + (\alpha_{HMH} \cdot M_{k|RH})^2} = \sqrt{24\,634^2 + (\sqrt{3} \cdot 26\,400)^2} =$$

$$51\,940 \, N \cdot mm \quad (6)$$

Výpočet průměru hřídele

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_{o|RHRED}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \leq \sigma_{DOV}$$

$$d'_{|RH} \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o|RHRED}}{\pi \cdot \sigma_{DOV11500|MIJ}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 51\,940}{\pi \cdot 120}} = 16,4 \, mm \quad (7)$$

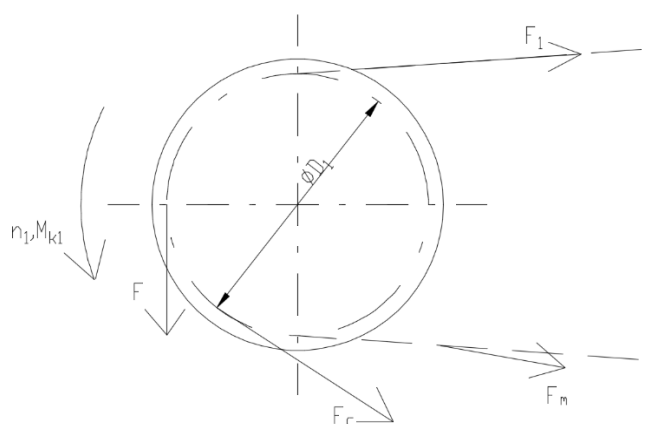
Kde:

$\sigma_{DOV11500|MIJ}$

– *dovolené napětí pro ocel 11 500 zatěžovanou mívivým cyklem [MPa] [14]*

Z konstrukčních důvodu volím průměr hřídele $d = 30 \, mm$.

5.1.1 Výpočet sil od řetězových kol



Obr. 21 - Tahové síly v řetězovém převodu [16]

Kolo 1 viz. 4.4

Výpočet obvodové síly

$$F_{t1} = \frac{P_n}{v_{t1}} = \frac{1100}{2,56} = 430 \text{ N} \quad (8)$$

Výpočet obvodové rychlosti kola

$$v_{t1} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_M}{60} = \frac{\pi \cdot 0,053 \cdot 925}{60} = 2,56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (9)$$

Výpočet tahové síly řetězu

$$F_{c1} = \frac{dF_{OD}}{2 \cdot \sin \frac{d\varphi}{2}} = \frac{m_1 \cdot d\varphi \cdot v_{t1}^2}{2 \cdot \frac{d\varphi}{2}} = m_1 \cdot v_{t1}^2 = 0,69 \cdot 2,56^2 = 4,5 \text{ N} \quad (10)$$

Kde:

m_1 – hmotnost 1 m řetězu [kg] [15]

Výpočet síly od tíhy řetězu

$$F_m \cdot h = m_1 \cdot \frac{A}{2} \cdot g \cdot \frac{A}{4}$$

$$F_{m1} \cong \frac{m_1 \cdot A_1^2}{8 \cdot h_1} \cdot g \cong \frac{0,69 \cdot 0,26^2}{8 \cdot 0,0039} = 1,5 \text{ N} \quad (11)$$

Kde:

A – osová vzdálenost řetězových kol [mm]

h – průhyb řetězu [mm]

Výpočet celkové tahové síly

$$F_{R1} = F_{t1} + F_{c1} + F_{m1} = 430 + 4,5 + 1,5 = 436 \text{ N} \quad (12)$$

Kolo 2 viz. 5.1 Redukční hřídel

Výpočet obvodové síly

$$F_{t2} = \frac{P_n}{v_{t2}} = \frac{1100}{2,27} = 485 \text{ N} \quad (13)$$

Výpočet obvodové rychlosti

$$v_{t2} = \frac{\pi \cdot D_P \cdot n_2}{60} = \frac{\pi \cdot 0,13764 \cdot 316}{60} = 2,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (14)$$

Výpočet průměru řetězového kola

$$D_P = \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{z_2}} = \frac{12,7}{\sin \frac{180^\circ}{34}} = 137,64 \text{ mm} \quad (15)$$

Výpočet takové síly řetězu

$$F_{c2} = \frac{dF_{OD}}{2 \cdot \sin \frac{d\varphi}{2}} = \frac{m_1 \cdot d\varphi \cdot v^2}{2 \cdot \frac{d\varphi}{2}} = m_1 \cdot v^2 = 0,28 \cdot 2,27^2 = 2,1 \text{ N} \quad (16)$$

Kde:

m_1 – hmotnost 1 m řetězu [kg] [15]

Výpočet síly od tíhy řetězu

$$F_m \cdot h = m_1 \cdot \frac{A}{2} \cdot g \cdot \frac{A}{4}$$
$$F_{m2} \cong \frac{m_1 \cdot A^2}{8 \cdot h} \cdot g \cong \frac{0,28 \cdot 0,387^2}{8 \cdot 0,0058} = 0,9 \text{ N} \quad (17)$$

Výpočet celkové tahové síly

$$F_{R2} = F_{t2} + F_{c2} + F_{m2} = 485 + 2,1 + 0,9 = 488 \text{ N} \quad (18)$$

5.1.3 Kontrola ložisek UC 206

Dynamická kontrola

$$\frac{F_A}{F_R} \leq e \rightarrow P = R_{B|RH} \quad (19)$$

Výpočet základní trvanlivosti

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p = \left(\frac{19,5}{1,309} \right)^3 = 3\,305,8 \text{ min}^{-1} \quad (20)$$

$$L_{10h} = L_{10} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} = 3\,305,8 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 316} = 174\,356 \text{ hod} \quad (21)$$

Kde:

C – základní dynamická únosnost [kN] [17]

p – exponent rovnice trvanlivosti [-] [17]

Statická kontrola

Výpočet ekvivalentního statického zatížení

$$P_o = X_o \cdot F_R + Y_o \cdot F_A = 1 \cdot R_{B|RH} + 0 \cdot 0 = 1 \cdot 1\,309 = 1\,309 \text{ N} \quad (22)$$

Kde:

X_o – součinitel radiálního zatížení ložiska [-] [17]

Y_o – součinitel axiálního zatížení ložiska [-] [17]

Výpočet bezpečnosti

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} = \frac{11,4}{1,309} = 8,7 \quad (23)$$

Kde:

C_o – základní statická únosnost [kN] [17]

Dle [17] statická bezpečnost musí být $\geq 1,5$. Ložisko vyhovuje.

5.2 Odpor valení

Pro zjištění a ověření ramena valivého odporu ξ byl vytvořen experiment, který by určil kolmou délku stopy pláště, který je deformován.

Požadované parametry tohoto experimentu byly stanoveny normou ISO 4210-7:2014, která požaduje zátěž 640 N a nahuštění pláště na 90 % maximálního tlaku.

Experiment byl proveden v domácím prostředí za použití orientačních měřidel. Měření bylo provedeno na krosovém cyklistickém kole s velikostí ráfku 28“ a rozměrech pláště 622-37.



Obr. 22 - Testovaný plášť [11]

Postup měření

Jako první bylo za potřebí zjistit maximální možné nahuštění pláště.



Obr. 23 - Maximální nahuštění pláště

Z Obr. 23 vidíme, že maximální nahuštění zadního pláště je 515 *kPa*. Když tedy tuto hodnotu vynásobíme 90 % dostáváme požadovanou hodnotu nahuštění.

$$p_{90} = p_{100} \cdot 0,9 = 515 \cdot 0,9 = 463,5 \text{ kPa}$$

Za použití nožní hustilky s manometrem byl plášť nahuštěn přibližně na hodnotu p_{90} .



Obr. 24 - Hodnota nahuštění pláště

Kolo bylo umístěno do stojanu, váha vložena pod zadní nahuštěné kolo a poté nasednutí osoby na kolo. Osoba o hmotnosti 80 kg byla schopna vyvodit sílu 600 N . Norma ukládá sílu 640 N , bohužel tuto sílu se nepodařilo vyvodit.

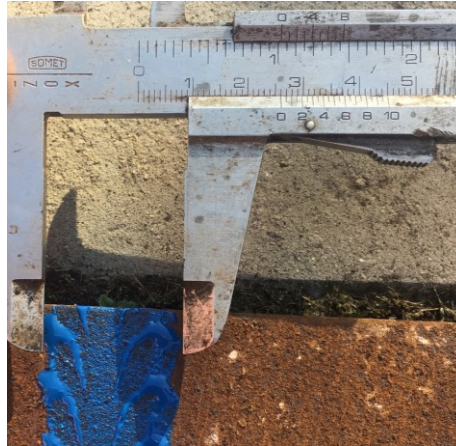
Část pláště byla poté potřeba modrou barvou. Pás oceli o tloušťce $t_{plech} = 2\text{ mm}$ byl vložen pod zadní kolo.

S osobou na kole byl pás oceli potáhnut přes nabarvenou část pláště, tak aby vznikl otisk stlačované plochy.



Obr. 25 - Pás oceli s otiskem

Měření bylo provedeno v místě největšího otisku.



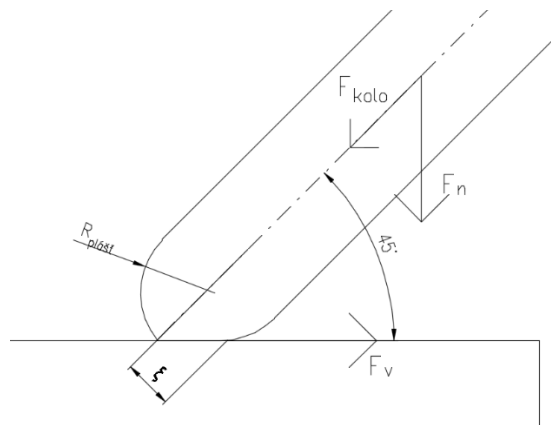
Obr. 26 - Naměřená kolmá vzdálenost otisku

Naměřená kolmá vzdálenost otisku je tedy $l_{otisk} = 26 \text{ mm}$. Rameno valivého odporu dostaneme, když tuto hodnotu podělíme dvěma.

$$\xi = \frac{l_{otisk}}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ mm}$$

Dále byl změřen poloměr pláště pomoci poloměrových měrek. Poloměr měřeného pláště odpovídal měrci o zaoblené 75 mm .

Výpočet odporu valení



Obr. 27 - Odpor valení

$$F_v = F_n \cdot \frac{\xi}{R_{plast}} = 640 \cdot \frac{13}{75} = 111 \text{ N} \quad (24)$$

Jelikož se rám naklápí v rozmezí $\pm 45^\circ$ je tedy nutné vytvořit funkci pro toto rozmezí.

$$M_{kn0} \cong 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{kn45} = 69,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

5.3 Kyvný rám

V této podkapitole jsou pevnostní výpočty kyvného rámu

5.3.1 Osy

Více namáhaným hřídelem kyvného rámu je hřídel s řetězovým kolem, proto hřídel se závažím není počítán.

Hřídel s řetězovým kolem

Výpočet obvodové síly

$$F_{t3} = \frac{P}{v_{t3}} = \frac{200}{0,118} = 1\,695 \text{ N} \quad (26)$$

Výpočet obvodové rychlosti

$$v_{t3} = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_3}{60} = \frac{\pi \cdot 0,045 \cdot 50}{60} = 0,118 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (27)$$

Výpočet tahové síly řetězu

$$F_{c2} = \frac{dF_{OD}}{2 \cdot \sin \frac{d\varphi}{2}} = \frac{m_1 \cdot d\varphi \cdot v^2}{2 \cdot \frac{d\varphi}{2}} = m_1 \cdot v^2 = 0,69 \cdot 0,118^2 = 0,01 \text{ N} \quad (28)$$

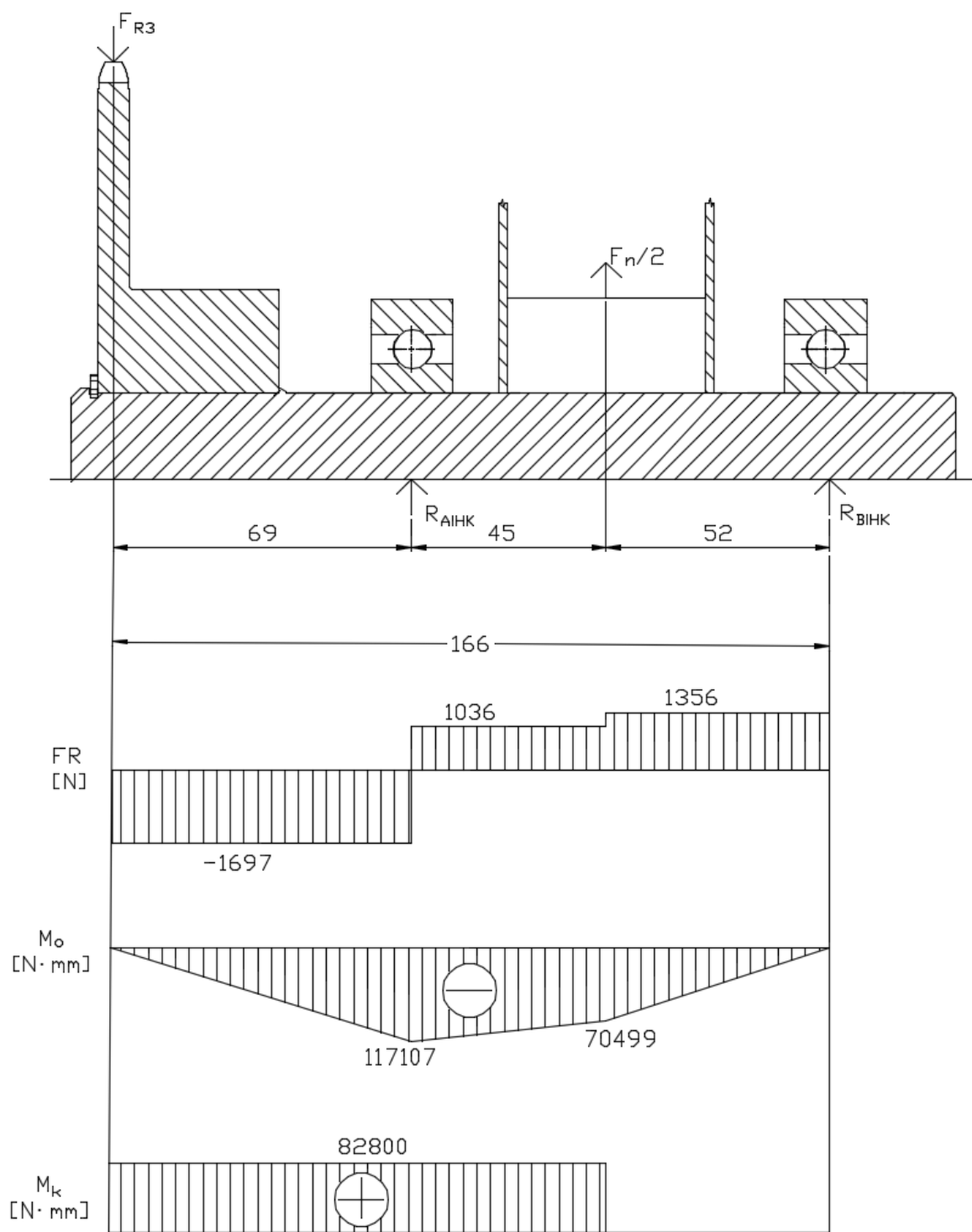
Výpočet síly od tíhy řetězu

$$F_m \cdot h = m_1 \cdot \frac{A}{2} \cdot g \cdot \frac{A}{4}$$

$$F_{m2} \cong \frac{m_1 \cdot A^2}{8 \cdot h} \cdot g \cong \frac{0,69 \cdot 0,382^2}{8 \cdot 0,00573} = 2,2 \text{ N} \quad (29)$$

Výpočet celkové tahové síly

$$F_{R3} = F_{t3} + F_{c3} + F_{m3} = 1\,695 + 0,01 + 2,2 = 1\,697,21 \text{ N} \quad (30)$$



Obr. 30 - Průběh hřídele kyvného rámu

Výpočet reakcí

$$\sum F_Y = R_{A|HK} + R_{B|HK} - F_{R3} + \frac{F_n}{2} = 0$$

$$R_{A|HK} = -R_{B|HK} + F_{R3} - \frac{F_n}{2} = 1356 + 1697 - 320 = 2\,733\text{ N} \quad (31)$$

$$\sum M_A = F_{R3} \cdot 69 + \frac{F_n}{2} \cdot 45 + R_{B|HK} \cdot (45 + 52) = 0$$

$$R_{B|RH} = \frac{-F_{R3} \cdot 69 - \frac{F_n}{2} \cdot (45)}{45 + 52} = \frac{-1\,697 \cdot 69 - 320 \cdot 45}{97} = -1\,356\text{ N} \quad (32)$$

Výpočet kroutícího momentu

$$M_{k|HK} = M_g \cdot \eta \cdot u_3 = 30 \cdot 0,66 \cdot 4,18 = 82\,800\text{ N} \cdot \text{mm} \quad (33)$$

Kde:

M_N – kroutící moment elektromotoru [$\text{N} \cdot \text{mm}$]

u_3 – převodový poměr mezi převodovkou a hřídelí kyvného rámu [–]

η – účinnost převodovky [%]

Výpočet ohybových momentů

$$M_o(R_{A|HK}) = -F_3 \cdot 69$$

$$M_o(69) = -1697 \cdot 69 = -117\,107\text{ N} \cdot \text{mm} \quad (34)$$

$$M_o(R_{B|HK}) = -F_{R3} \cdot 114 + R_{A|RH} \cdot (114 - 69)$$

$$M_o(114) = -1697 \cdot 114 + 2733 \cdot 45 = -70\,499\text{ N} \cdot \text{mm} \quad (35)$$

Výpočet redukovaného momentu

$$M_{o|HKRED} = \sqrt{M_{o(69)}^2 + (\alpha_{HMH} \cdot M_{k|HK})^2} = \sqrt{117\,107^2 + (\sqrt{3} \cdot 70\,499)^2} = 169\,187\text{ N} \cdot \text{mm} \quad (36)$$

Výpočet průměru hřídele

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o|_{RHRED}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \leq \sigma_{DOV}$$

$$d'_{|RH} \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_o|_{HKRED}}{\pi \cdot \sigma_{DOV11500|STR}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 169\,187}{\pi \cdot 80}} = 27,82 \text{ mm} \quad (37)$$

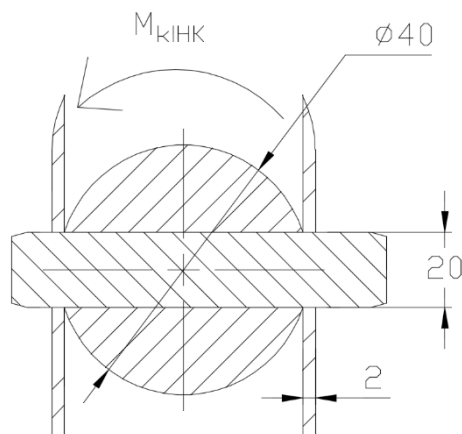
Kde:

$$\sigma_{DOV11500|STR}$$

– *dovolené napětí pro ocel 11 500 zatěžovanou střídavý cyklem [MPa] [14]*

S přihlédnutím na bezpečnost je volel průměr $d = 40 \text{ mm}$.

5.3.2 Kontrola kolíku v hřídeli



Obr. 31 - Namáhání čepu

Kontrola na smyk

$$\tau_s = \frac{4 \cdot M_{k|HK}}{\pi \cdot d^2 \cdot (D + 2 \cdot t)} = \frac{4 \cdot 82\,800}{\pi \cdot 20^2 \cdot (40 + 2 \cdot 2)} = 6 \text{ MPa} \quad (38)$$

Kontrola na otlačení

$$p_1 = \frac{6 \cdot M_{k|HK}}{d \cdot D^2} = \frac{6 \cdot 82\,800}{20 \cdot 40^2} = 15,5 \text{ MPa} \quad (39)$$

$$p_2 = \frac{4 \cdot M_{k|HK}}{d \cdot ((D + 2 \cdot t)^2 - D^2)} = \frac{4 \cdot 82\,800}{20 \cdot ((40 + 2 \cdot 2)^2 - 40^2)} = 49,3 \text{ MPa} \quad (40)$$

Kontrola na krut

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_{k|HK}}{\pi \cdot D^3 \cdot \left(1 - 0,9 \cdot \frac{d}{D}\right)} = \frac{16 \cdot 82\,800}{\pi \cdot 40^3 \cdot \left(1 - 0,9 \cdot \frac{20}{40}\right)} = 12 \text{ MPa} \quad (41)$$

Kontrola s dovoleným napětím

$$p \leq \frac{p_D}{k}$$

$$p_2 \leq \frac{130}{1,5} \rightarrow 49,3 \leq 86,6 \quad (42)$$

$$\tau \leq \frac{\tau_D}{k}$$

$$\tau_k \leq \frac{75}{1,5} \rightarrow 12 \leq 50 \quad (43)$$

Kde:

p_D – dovolené napětí v tlaku [MPa] [18]

τ_D – dovolené napětí v krutu [MPa] [18]

Kolík vyhovuje dovoleným napětím.

5.3.3 Ložiska kyvného rámu UC 208

Jelikož otáčky hřídele kyvného rámu jsou pouze 12 min^{-1} , není třeba provádět dynamickou kontrolu ložisek.

Statická kontrola

$$P_o = X_o \cdot F_R + Y_o \cdot F_a = 1 \cdot R_{B|HK} + 0 \cdot 0 = 1 \cdot 2\,733 = 2\,733 \text{ N} \quad (44)$$

$$s_0 = \frac{c_0}{P_o} = \frac{20}{2,733} = 7,4 \quad (45)$$

C_o – základní statická únosnost [kN] [17]

Ložisko vyhovuje statické kontrole.

6 Závěr

Cílem práce bylo zkonstruovat nové řešení zkušebního zařízení pro běhové zkoušky kol, tak aby odpovídal požadavkům normy ISO 4210-7:2014 a zároveň splňovalo požadavky stanovené zadáním bakalářské práce. Snahou bylo postavit nové řešení na původním rámu.

Začátkem práce je seznámení s normou, která definuje zkoušku zaplétaných kol a průzkum trhu s těmito zkušebními stroji. Pro nové řešení bylo zvoleno řešení uložení kyvného rámu v ložiscích. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu požadavku na naklápění horní části rámu se zaplétaným kolem.

Pro všestrannější použití zkušebního stroje byly zkonstruovaný dva typy úchytu os a to pro 5 mm napínák a 12 mm pevnou osu. Úchyty jsou šroubovány na základnu s tlačnou pružinou, která vyvozuje požadovanou přitlačnou sílu.

Výstupem práce je sestavný výkres zkušebního zařízení a výrobní výkres redukčního hřídele. Všechny cíle stanovené na začátku práce byly splněny.

Seznam použití literatury

- [1] ISO 4210-7. Jízdní kola – Bezpečnostní požadavky na jízdní kola – Část 7: Zkušební metody pro kola a ráfky. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2015. 16 p.
- [2] Carbon Fibre – Pro-Lite. In: *Youtube* [online]. 05.03.2009 [cit.2019-05-15].
Dostupné z: https://youtu.be/c7RJpf_KQo4. Kanál uživatele proliteboss.
- [3] Yoeleo Carbon Wheels Test 1. In: *Youtube* [online]. 21.06.2014 [cit.2019-05-15].
Dostupné z: <https://youtu.be/VU2bymqCZBg>. Kanál uživatele YOELEO.
- [4] Elektromotory Moravec s.r.o. *Elektromotory SIEMENS* [online]. Zábřeh: Moravec, 2011 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.net/>
- [5] RAVEO. *Raveo s.r.o.* [online]. Otrokovice: Raveo, c2019 [cit. 2019-05-15].
Dostupné z: <https://www.raveo.cz/>
- [6] LINAK. *LINAK We improve your life* [online]. Majetin: LINAK, c2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.linak.cz/>
- [7] Intech Bearing Inc. *Intech Bearing Inc.* [online]. USA: Intech Bearing, c2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://intechbearing.com>
- [8] HABERKORN. *Haberkorn: Váš partner pro stavbu strojů* [online]. Mokré Lazce: HABERKORN, c2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/>
- [9] SRAM. *SRAM | Incremental enhancements* [online]. USA: SRAM, c2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.sram.com/>
- [10] FB Chain. *FB Chain: Industrial chains for materials handling applications* [online]. Velká Británie: FB Chain, c2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.fbchain.com/>
- [11] MOJEKOLO. *Mojekolo.cz: Jízdní kola, komponenty a cyklo doplňky* [online]. Kobeřice: MOJEKOLO, c2016 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.mojekolo.cz/>
- [12] QUARQ. *Quarq – Know Your Powers* [online]. USA: SRAM, c2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.quarq.com/>
- [13] POWER METER CITY. *Power Meter City – Cycling Power Meters* [online]. USA: Power Meter City, c2016-2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://powermetercity.com/>

[14] E-Konstrukter. *E-konstrukter – Portál pro strojní konstruktéry* [online]. ČR: E-Konstrukter, c2013-2017 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz>

[15] TYMA. *TYMA CZ / Klínové, ozubené řemeny a řemenice, řetězy, spojky* [online]. Trmice: TYMA, c2004-2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz>

[16] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2019-05-18]. ISBN 978-80-248-1860-3. Dostupné z: <https://lms.vsb.cz>

[17] SKF [online]. Švédsko: SKF, c2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/index.html>

[18] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

Seznam příloh

Příloha A	Sestavný výkres zkušebního stroje	HAV226-01
Příloha B	Výrobní výkres	HAV226-01-08-01
Příloha C	CD nosič	HAV226-CD